SITUACIONES FISICA PROBLEMATIZADORA EXPERIMENTAL: LANZAMIENTO DE PROYECTILES

Heriberto Parra

Resumen

Las situaciones físicas problematizadoras experimentales como estrategia didáctica se reconocen por estar fundamentadas desde el campo disciplinar, su historia y desde la epistemología implícita. Razón por la cual el siguiente documento desarrolla la evolución del lanzamiento de proyectiles para darle sustento como un tema que se puede presentar como SFPE, y que enriquece a la misma didáctica al ofrecer las distintas hipótesis paradigmáticas desarrolladas históricamente, razón por la que se hace un enfoque fuerte en lo epistemológico.

INTRODUCCION

Las situaciones que se pueden presentar a los estudiantes respecto al lanzamiento de proyectiles pueden ser variadas, sin embargo si se tiene en cuenta los criterios para elegir una situación física experimental problematizadora de Parra (2008), que sea del campo disciplinar que tenga un fundamento histórico, epistemológico y que permita controlar variables. Las situaciones más adecuadas pueden ser ¿Cuál es la trayectoria seguida por un proyectil en el aire? ¿De qué depende que el alcance logrado por el proyectil sea mayor o menor?

Las preguntas cobra valor en este trabajo pues presenta la evolución histórica y epistemológica e implícitamente el manejo experimental y racional de su solución. a partir de científicos como: Aristóteles, Buridán, Tartaglia y Galileo entre otros.

Campo disciplinar

El lanzamiento de proyectiles es una de las temáticas mas antiguas a las que se han dedicado muchos investigadores, la trayectoria de su movimiento y la razón por la que se da. El movimiento en dos dimensiones como la superposición de dos movimientos, uno en el eje horizontal de velocidad constante y otro en el eje vertical con aceleración constante, y que al sumarse originan el llamado tiro parabólico.

Históricamente

En el campo de la guerra el lanzamiento de proyectiles ha sido uno de los fenómenos más utilizados, los griegos y romanos pusieron todo su ingenio y su ciencia al servicio de la técnica. Arquímedes, participó de forma importante en este campo, durante el asedio de la flota romana a la ciudad de Siracusa, haciendo construir artefactos de defensa, catapultas y ballestas que lanzaban piedras y flechas. También, idearon mecanismos para los elementos bélicos necesarios para convertirse a su vez en atacantes, para ello se utilizo dos tipos de elementos: lanzadoras de diferentes tipos de proyectiles, como: las balistas, los onagros, los escorpiones, etc. Y por otra parte los medios de asalto, dedicados a perforar o derribar, como: las torres de asalto, los arietes, las rampas o las minas.

Dionisio de Alejandría ideó una máquina de repetición con una especie de cadena que la iba cargando automáticamente con nuevos proyectiles. Y el propio Ctesibio intento, aunque sin éxito ejercer la propulsión por medio de la presión producida al calentar aire en recipientes cerrados. O

Filón de Bizancio intentando utilizar resortes metálicos para substituir las cuerdas de tripa o tendones que por ser de materia orgánica tendían a estropearse de forma un tanto rápida a la intemperie. Nos podemos hacer una idea del grado de estudio, sobre estas máquinas, al que llegaron estos hombres de ciencia al revisar el tratado "Belopoiika", de Filón, sobre las catapultas, no ya solamente estudiando nuevas formas o materiales, sino la aplicación de las matemáticas y la geometría al producirse el disparo del proyectil, enunciando fórmulas que contenían las distintas relaciones entre la fuerza de la máquina y el proyectil utilizado así como la relación del calibre, la forma y el peso del mismo (Moreno, 2008)

A partir del desarrollo industrial el lanzamiento de proyectiles, evoluciono y es una historia más reciente, con la utilización de lanzamiento por medio de pólvora (cañones), y armas de bajo calibre (rifles, escopetas, pistolas, etc.) o propulsión tales como misiles. Hablar de lanzamiento de proyectiles, es imposible sin referirse al lanzamiento de cohetes y de colocación en órbita de satélites de comunicación, pues su fondo teórico es sin duda el tiro parabólico. Sin duda, la carrera armamentista y la exploración espacial tienen como base fundamental la teoría del lanzamiento de proyectiles. En 1946 una nueva máquina electrónica llamada ENIAC, creada para hacer cálculos de trayectorias de proyectiles militares, más tarde, representaría una de las generaciones paso era de la computación.

Epistemológicamente

El lanzamiento de proyectiles ha sido uno de los fenómenos que ha generado crisis en diferentes paradigmas, sincrónica o diacrónicamente.

El problema fue planteado por Aristóteles en el Libro VIII del capítulo 10 de la física. El primer moviente no tiene partes ni magnitud.

“Antes de seguir adelante conviene examinar mejor una dificultad sobre el movimiento de los cuerpos. Si todo lo que está en movimiento es movido por algo, ¿cómo algunas cosas que no se mueven a sí mismas, como los proyectiles, continúan moviéndose cuando el moviente ya no está en contacto con ellas?” (Aristóteles, 1995).

Lo anterior conllevo a otra pregunta ¿Cuál es la trayectoria seguida por el proyectil una vez abandona el propulsor?

Aristóteles frente a la primera pregunta, formula dos hipótesis explicativas: la primera, se sigue moviendo porque el moviente transmitió al medio en el cual se mueve el proyectil fuerza cinética; segunda, el moviente transfirió la fuerza cinética al objeto, es decir, el proyectil se movería por una fuerza que le ha sido transmitida. En sus términos:

“Además, los proyectiles se mueven aunque lo que los impulsó no esté ya en contacto con ellos, o bien por antipe-rístasis, como suponen algunos, o bien porque el aire que ha sido empujado los empuja con un movimiento más rápido que el que los desplaza hacia su lugar propio. Pero en el vacío ninguna de estas cosas puede ocurrir, ni algo puede desplazarse a menos que sea transportado” (Aristóteles, 1995).

La explicación anterior diacrónicamente el desarrollo “concierne la ampliación (o restricción) de una teoría a través de la adaptación de sus leyes y definiciones [...] en este tipo de cambios, las variaciones semánticas pueden ser asumidas como relativamente menores, ya que la teoría general persiste como tal (esto significa que persiste lo que se llama núcleo teórico, que identifica una teoría)” (Schumacher, 1996).

La hipótesis primera fue desarrollada por el neoplatónico Simplicio y la segunda por alejandrino Juan Filopón, quien dudo que el aire fuera el transmisor del impulso y ejerciese de motor; supuso que el impulsor transmitía al móvil una fuerza incorpórea o poder cinético que actuaría como causa del movimiento, atravesando el aire y constituyó el antecedente de la teoría del *ímpetu* de Juan Buridán, a quien se retomara más adelante.

A la segunda pregunta, haciendo un reconstrucción de su marco conceptual se puede inducir que la trayectoria seguida por el proyectil, es inicialmente una recta en dirección de la fuerza que lo propulso (movimiento violento) y una vez deja de actuar, el cuerpo se mueve en dirección del centro de la tierra (movimiento natural) ver fig. 1.

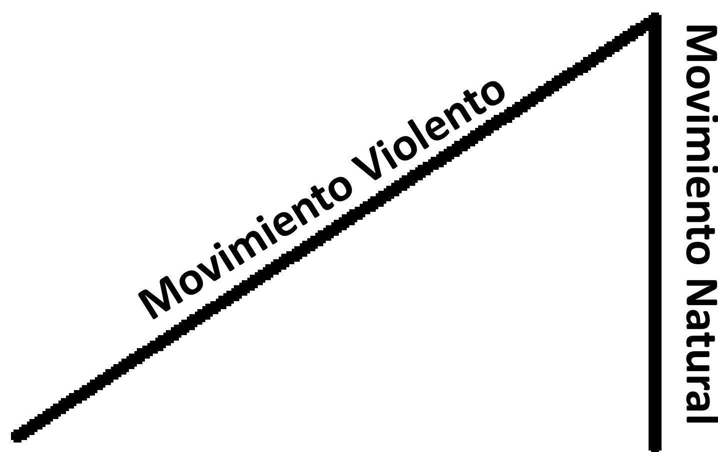


Fig. 1.

El pensamiento de Aristóteles, estuvo presente hasta que en el s. XIV hasta cuando se toma en consideración la teoría del ímpetus de Juan Buridán, quien establece que cuando se lanza un cuerpo, se transmite a este un impulso (ímpetu), que se mantiene en el cuerpo hasta que es equilibrado por otras fuerzas como, la resistencia del medio y la tendencia del cuerpo a moverse hacia su lugar natural. La intensidad del ímpetu dependía del movimiento comunicado, así como de la cantidad de materia del proyectil (Peduzzi y Zylbersztajn, 1997).

“Muchos suponen que el proyectil, después de abandonar el proyector, es movido por un ímpetus dado por el proyector, y que es movido mientras que el ímpetus continua siendo más fuerte que la resistencia. El ímpetus duraría indefinidamente (in finitum duraret impetus) si no fuera disminuido por un contrario resistente o por una inclinación a un movimiento contrario; y en el movimiento celeste no hay resistencia contraria, de manera que cuando en la creación del mundo, Dios movió una esfera con la velocidad que quiso, El dejó de mover, y ese movimiento duró después por siempre debido al ímpetus impreso en esa esfera. Por eso se dice que Dios descansó el séptimo día de todos los trabajos que había realizado” (Buridán, 1964)

La teoría de Buridán tiene un elemento importante y es la modificación de teorías lo que conlleva a que el núcleo de la teoría variada cambie, en este caso en especial el nuevo núcleo teórico se puede reducir al anterior y se dice que la teoría se amplió. Respecto a la segunda pregunta (la trayectoria del proyectil), no cambia con la ampliación de la teoría.

Este enfoque fue seguido por Nicolás de Cusa y Leonardo da Vinci, entre otros, hasta que los desarrollos posteriores de Tartaglia o Benedetti en el S. XVI lo doten de un tratamiento muy diferente a los estudios sobre el movimiento.

En el año 1537 Tartaglia publicó el tratado *Nova scientia inventa* (Venecia) consagrado a la balística. En el documento el autor sostuvo que la trayectoria de un proyectil lanzado por un cañón se componía de tres tramos: el primero, rectilíneo e inclinado; el segundo, curvilíneo [= un arco de circunferencia]; el tercero, rectilíneo y vertical (Oliva, J., Aragón, M., Mateo, J. y Bonat, M. 2001) ver figura 2.

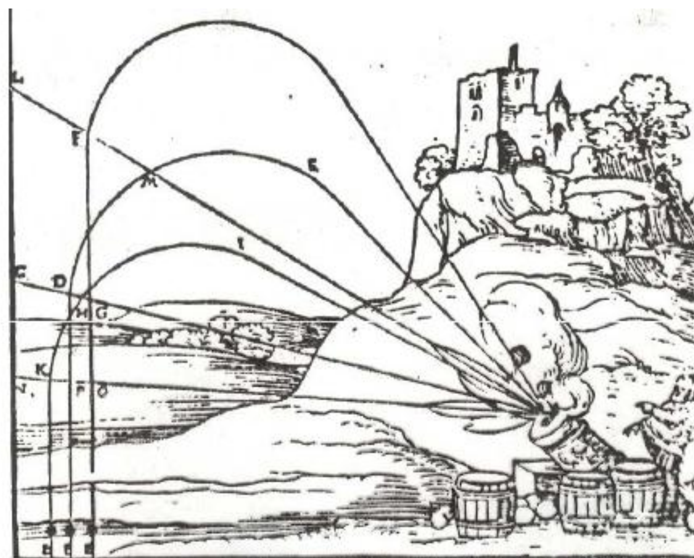


Figura 2. Tomada del Nova scientia inventa

"la trayectoria de un proyectil mediante una línea que recuerda las primeras descripciones balísticas de Tartaglia: primero un movimiento recto oblicuo y ascendente, seguido de una pequeña curvatura brusca, que termina con un movimiento vertical de caída"
De modo seguido Tartaglia procede en el libro en modo geométrico, parte de una serie de definiciones, a las que sigue una serie de axiomas de los que deduce unas proposiciones, un ejemplo de proposición la V que dice:

"Ningún cuerpo igualmente grave puede durante ningún espacio de tiempo y de lugar, marchar con un movimiento compuesto (mixto) a la vez de movimiento violento y movimiento natural".

La anterior proposición, no solo mantiene el núcleo teórico Aristotélico, sino que además niega la posibilidad del movimiento mixto, es en este momento en que se pregunta y ¿Por qué afirmar una curva al finalizar la primera recta oblicua? Es donde Tartaglia incluye la proposición III del libro I, en la que afirma que el movimiento violento puede ser recto o curvo y plantea que es debido a este movimiento curvo la disminución de la velocidad, hasta que desaparece y cae en línea recta.

Otro aspecto tratado e el *nova* scientia inventa, las trayectorias debidas al aumento del ángulo de proyección, respecto a estas expresa, que la parte de la trayectoria que es curva es mayor en cuanto el ángulo de elevación es mayor, exceptuando los ángulos de cero y noventa en nuestro lenguaje. Ver figura 3.

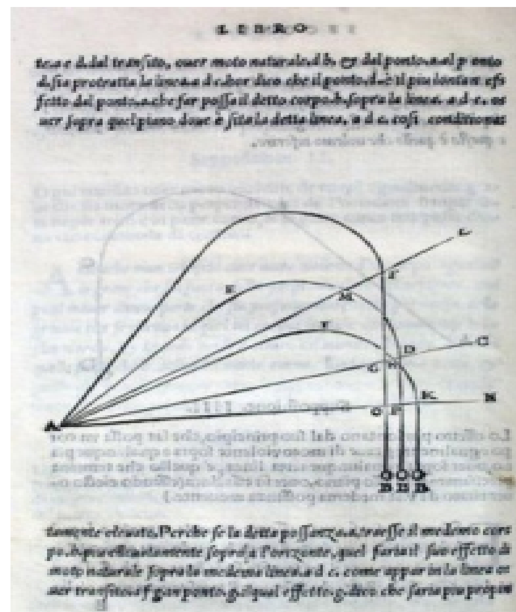


Figura 3. Tomada de estudios de historia del pensamiento científico de Koyre

Con respecto a lanzamientos con el mismo ángulo, pero con velocidades diferentes Tartaglia en el libro II plantea que "la trayectoria del más lento será similar exactamente a partir de cierto punto, en particular de aquel en que su velocidad es igual a la velocidad inicial del más lento, a la trayectoria descrita por el más rápido"

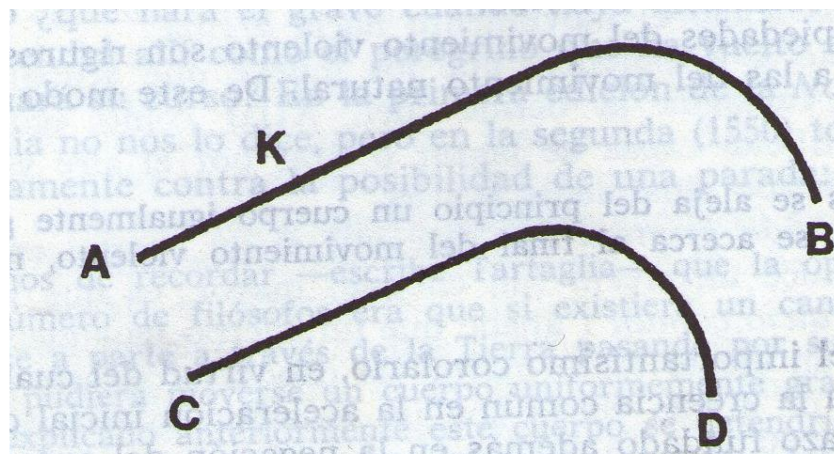


Figura 4. Tomada de estudios de historia del pensamiento científico de Koyre

Antes de pasar a su obra *Quesiti et inventioni diverse,* observese con cuidado la portada del libro *nova scientia inventa,* en la que el artista que la diseño, tenía en su marco conceptual la trayectoria del proyectil como una curva desde su partida. Ver Figura 5.



Figura 5.

Es en 1546 cuando se editaron las *Quesiti et inventioni diverse*, escrito dialógico y dedicado a la ingeniería y al arte militar. En el Tartaglia replantea su hipótesis presentada en la ciencia nova y considera que la trayectoria de un proyectil lanzado por un cañón es totalmente curvilínea, y con la cual abandona la teoría del movimiento violento en línea recta y afirma que el proyectil comienza a descender desde el mismo momento que abandona el proyector (Meavilla, 2006).

El marqués Guidobaldo del Monte (hacia 1600), sugirió a Galileo realizar un experimento que permitía mostrar la trayectoria seguida por un móvil una vez abandona su rodadura por un plano inclinado (Naylor, 1974). La propuesta se puede realizar así: se lanza una bola a lo largo de un canal inclinado OP, marcando la proyección horizontal resultante una vez que la bola abandona el plano y cae al suelo (véase la Figura 6).

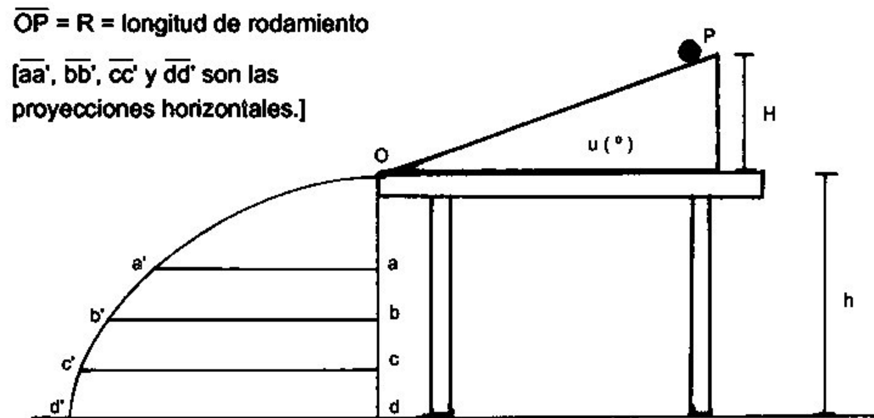


Figura 6

Si se aplicara la teoría aristotélica al problema se obtendría que el móvil seguirá en línea recta y una vez se acaba el movimiento violento, comienza a caer en línea recta es decir con movimiento violento (ver figura 7). Al aplicar las proposiciones de Tartaglia se obtendría en primera instancia una recta de manera similar a la trayectoria Aristotélica, pero el siguiente movimiento seria una curva (violento), luego una recta en caída (figura 8).



Figura 7

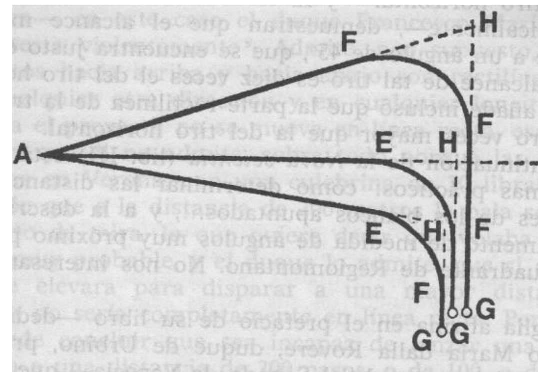


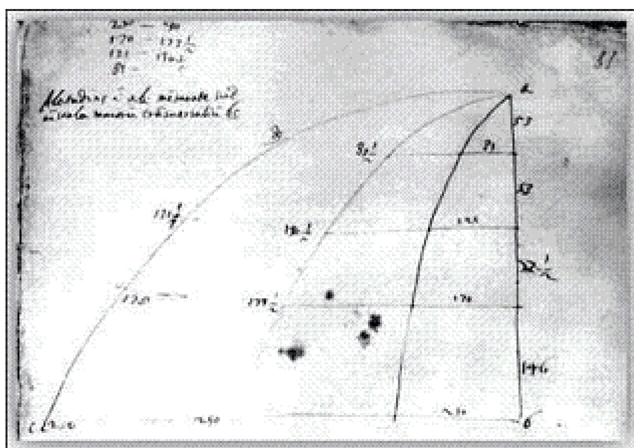
Figura 8

En 1603, Galileo intenta repetir la experiencia de Guidobaldo. Utilizó un plano de altura H e inclinación u, emplazado a una distancia h del suelo. El problema consistió en soltar, desde el punto P del plano, una esfera de metal, y medir, para cada una de las alturas consideradas (oa, ob, oc y od), las deflexiones originadas respecto a la horizontal (Figura 7). (Nótese que la bola deja el plano no sólo con velocidad horizontal.) En principio, esto no entraña ninguna dificultad que Galileo no

haya podido resolver con los medios a su alcance; pueden obtenerse mediciones precisas disponiendo de una buena regla y compás (Galilei, 1606) ver figura 9

El anterior procedimiento ya hubiera sido como experimento imaginario o real, llevo a determinar la trayectoria parabólica de los proyectiles a partir de la composición de dos movimientos, que se suponen independientes entre sí. En la obra "Diálogos sobre los dos grandes sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano" (1632) Galileo explicó esta composición así:

“Sabemos que el movimiento que tendrá lugar sobre un plano será uniforme y perpetuo, en el supuesto de que el plano se prolongue hasta el infinito. Si por el contrario, el plano es limitado, el móvil que suponemos dotado de gravedad, una vez llegue el extremo del plano y continúe su marcha, añadirá al movimiento precedente, uniforme e inagotable, esta tendencia hacia abajo, debida a la gravedad. Nace así un movimiento descendente naturalmente acelerado. Pues bien, a este tipo de movimiento yo le llamo proyección y hemos de demostrar alguna de sus propiedades, la primera de las cuales es la siguiente: Proposición: Un proyectil que se desplaza con un movimiento compuesto por un movimiento horizontal y uniforme y por un movimiento descendente naturalmente acelerado, describe, en este movimiento, una línea semi-parabólica” (Galilei, 1638).



Si se extrapola el movimiento al lanzamiento de un proyectil con un ángulo entonces la trayectoria seguida por el proyectil será una parábola.

“Galileo (…) enuncia que el movimiento de un proyectil lanzado horizontalmente se puede descomponer en un movimiento horizontal uniforme un movimiento vertical uniformemente acelerado. A partir de aquí establece trece proposiciones de las cuales vale la pena destacar la primera (Teorema **1)** en la que demuestra que la trayectoria de un proyectil sometido a un movimiento horizontal uniforme y a un movimiento descendente naturalmente acelerado, es una línea semiparabólica. Esta demostración se basa en propiedades de las cónicas ya demostradas por Apolonio pero que Galileo deduce de forma más sencilla” (Azcarate, 1984).

CONCLUSIONES

La anterior revisión conlleva a observar como la pregunta respecto a la trayectoria seguida por un proyectil, ha diferenciado tres paradigmas, el aristotélico con un marco conceptual propio pero que presenta crisis al no tener un sustento teórico que explique la naturaleza del movimiento una vez

abandona el proyectil el propulsor, pero que por la naturaleza de la hipótesis (postular) es autoridad históricamente, la hipótesis (conjetural) de Tartaglia que le permitió replantear su primera hipótesis por una adecuada pero con un fundamento errado y por último la de Galileo con un fundamento matemático y experimental. Sin duda lo anterior le aporta a la estrategia en varias direcciones para: ubicar las hipótesis de los estudiantes; situar los simuladores en este caso el mental (experimento pensado) y el experimental; y contextualiza el proceso desarrollado para contestar una pregunta y su desarrollo histórico como comparativo con una SFPE.

BIBLIGRAFIA

A r i s t ó t e l e s. (1995). Física. Traducción y notas: Guillermo r. De Echandía. Planeta de Agostini: Editorial gredos,

Azcarate, C. (1984), La nueva ciencia del movimiento. De galileo: una génesis difícil. Historia de las ciencias.

Buridan, J. (1964) Quaestiones in duodecim libros metaphysicae. edition - first published in 1964; Cover of: Petri Rami Veromandui pro philosophica.

Galilei, G. (1638), ***Discorsi e dimostrazioni rnatematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla ecanica e i Movimenti Locali*** (Elseviri, Leida).

Galilei, G. (1606). *Le Operazione del Compasso Geom´etrico et Militare*, Padua.

Koyre, A. (1977), Estudios de historia del pensamiento científico, Ed. Siglo XXI

Meavilla, V. (2006). Historia de las matemáticas. Biografías de matemáticos ilustres. Real Sociedad Matemática Española: Universidad de Zaragoza.

Moreno, A. (2008). Movimiento, mecánica y arte: momentos posibles para un arte cinético. Departamento de Pintura y Escultura: Universidad de la Laguna. ftp://tesis.bbtk.ull.es/ccssyhum/cs71.pdf (16-06-2010).

Naylor, (1974) "The Evolution of an Experiment: Guidobaldo del Monte and Galileo's *Discorsi* Demonstration of the Parabolic Trajectory", *Physics* **16** 323.

Oliva, J., Aragón, M., Mateo, J. y Bonat, M. (2001).Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. Revista: Innovaciones Didácticas.

Peduzzi, L.O.Q. y A. Zylbersztajn (1997). La física de la fuerza impresas y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica. *Enseñanza de lasCiencias*, *15*, 351-360.

Schumacher, C. (1996). La inconmensurabilidad en el ámbito subjetivo. En: Colciencias. Filosofía & Ciencia. Santiago de Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle. p. 225-251